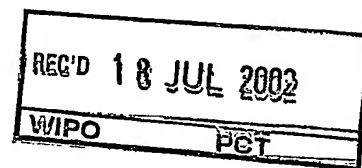


CT/CN02/00360

证 明



本证明之附件是向本局提交的下列专利申请副本

申 请 日： 2001 12 30

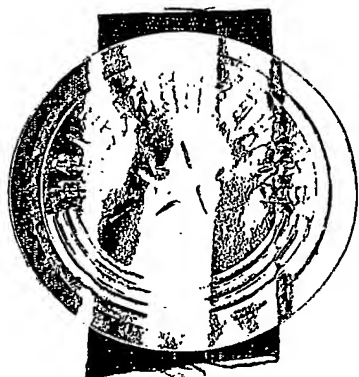
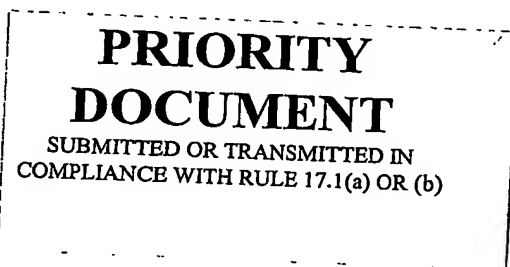
申 请 号： 01 1 45134.3

申 请 类 别： 发明

发明创造名称： 高码速率低位误差概率的水声相干通信系统和处理方法

申 请 人： 中国科学院声学研究所

发明人或设计人： 朱维庆； 王长红； 朱敏； 潘锋



中华人民共和国
国家知识产权局局长

王 景 川

2002 年 7 月 3 日

BEST AVAILABLE COPY

权利要求书

1. 一种高码速率低位误差概率的水声相干通信系统,其特征是:它包括主机和从机,主机安装在母船或主控水下载体 A 上,从机安装在水下载体 B 上。
2. 根据权利要求 1 所述的高码速率低位误差概率水声相干通信系统,其特征是:所述的主机包括一个发射换能器、垂直悬挂于水中的由 2 个以上水听器组成的接收线阵、发射机、多路接收机、多路 A/D 采集器、高速数字信号处理器、输入输出控制器,以及主控计算机。
3. 根据权利要求 2 所述的高码速率低位误差概率水声相干通信系统,其特征是:所述的的主机中的发射机驱动发射换能器向水中发射多相移键控信号,发射换能器可以是无指向性的或是有指向性的,一般波束角宽为 60~90 度。
4. 根据权利要求 2 所述的高码速率低位误差概率水声相干通信系统,其特征是:所述的主机中的接收线阵由 2~16 个水听器组成垂直悬挂于水中,水听器的间距一般约为 10 个波长。
5. 根据权利要求 2 所述的高码速率低位误差概率水声相干通信系统,其特征是:所述的主机中的发射机由一块发射板组成,工作频率与相联接的发射换能器的工作频率一致;发射机由主控计算机控制,主控计算机通过输入输出控制器向发射机发出门控信号,启动发射机;发射的电信号放大后经过驱动级驱动功率级,推动变压器生成驱动换能器的大功率脉冲信号。
6. 根据权利要求 2 所述的高码速率低位误差概率水声相干通信系统,其特征是:所述的主机中的多路接收机由 2 块接收机板构成,每块接收机板上有 4 通道接收机;它可与 8 个水听器相联接;水听器接收的微弱信号经前置放大和自动增益控制放大器,进行增益补偿,输入带通滤波器,滤去通带外的噪声;信号经正交解调后形成正交信号,经缓冲放大器,馈给多通道 A/D 采集器,其幅度适合多通道 A/D 采集器的要求。
7. 根据权利要求 2 所述的高码速率、低位误差概率水声相干通

信系统,其特征是:所述的主机中的多通 A/D 采集器是包括一主要用于对经过接收机处理后的多路正交回波信号进行数据采集;该采集器由模拟输入、多路模拟开关、A/D 转换器、FIFO 存储器、缓冲/隔离电路、时钟发生器、主控计算机总线和 DSP 扩展总线;它与接收机的通道数相一致,输入信号分为多组,每组由两个相互正交的信号组成,输入信号经过多路模拟开关后,每组的两个信号同时进行 A/D 转换,数据送入 FIFO 存储器;存储器在半满时向高速数字信号处理器发出中断请求,高速数字信号处理器响应中断,读出数据并另行保存,然后进行处理;处理完的数据传给主控计算机显示和保存,如此直到下一次中断到来。

8. 根据权利要求 2 所述的高码速率低位误差概率水声相干通信系统,其特征是:所述的主机中的高速数字信号处理器由数字信号处理芯片、双口 RAM、静态 RAM、逻辑控制器、主控计算机接口和扩展总线接口组成;其中高速数字信号处理器与主控计算机之间通过双口 RAM 进行数据交换,主控计算机负责将 DSP 程序加载到静态 RAM 中,还负责控制数字信号处理器的启动和停止;数字信号处理芯片工作时,AD 数据经过扩展接口保存到 SRAM 中,再经双口 RAM 将 AD 数据传到主控计算机。

9. 根据权利要求 2 所述的高码速率低位误差概率水声相干通信系统,其特征是:所述的主机中的输入输出控制器用于控制发射机的门控,提供 2 块接收机板的自动增益控制信号,并接收同步信号输入,它由数字输出接口、数字输入接口、定时器、D/A 转换器、逻辑控制器和主控计算机接口组成。

10. 根据权利要求 2 所述的高码速率低位误差概率水声通相干信系统,其特征是:所述的主机中的主控计算机按一定时间经过输入输出控制器发出指令,发射机驱动发射换能器发射声波,声波经声纳线阵变成电信号后馈给接收机,被处理后经 A/D 采集器变成数字信号,在高速数字信号处理器中进行各种运算,获得的结果存在硬盘里,或者经由 RS232 送到其它终端设备中。

11. 根据权利要求 1 所述的高码速率低位误差概率水声相干通信系统,其特征是:所述的从机包括一个收发合用的换能器、发射机、

一路接收器、一路 A/D 采集器、高速数字信号处理器、输入输出控制器以及主控计算机。

12. 根据权利要求 12 所述的高码速率低位误差概率水声相干通信系统,其特征是:所述的从机中的收发换能器可以是无指向性的或是有指向性的,一般波束角宽为 60~90 度。

13. 根据权利要求 11 所述的高码速率低位误差概率水声相干通信系统,其特征是:所述的从机中的发射机由一块发射板组成,工作频率与相联接的发射换能器的工作频率一致;发射机由主控计算机控制,主控计算机通过输入输出控制器向发射机发出门控信号,启动发射机;发射的电信号放大后经过驱动级驱动功率级,推动变压器生成驱动换能器的大功率脉冲信号。

14. 根据权利要求 11 所述的高码速率低位误差概率水声相干通信系统,其特征是:所述的从机中的高速数字信号处理器同权利要求 8,只是其中的 DSP 芯片的运算速度较低。

15. 根据权利要求 11 所述的高码速率低位误差概率水声相干通信系统,其特征是:所述的从机中的唤醒电路在从机不工作时进行值班,当接收到对方的指令时,它唤醒主机工作。

16. 根据权利要求 11 所述的高码速率低位误差概率水声相干通信系统,其特征是:所述的从机中的主控计算机系统同权利要求 10。

17. 根据权利要求 1 所述的高码速率、低位误差概率水声相干通信系统,其特征是:所述的水下载体包括水下机器人和任何能自主航行的水下载体。

18. 一种应用权利要求 1 所述的用高码速率低位误差概率水声相干通信系统进行信号处理的方法,包括以下步骤:

(1)根据用户要求选用合适的安装主机的母船或主控水下载体 A,以及安装从机的水下载体 B;

(2)根据用户要求,拟定初步的总体指标,包括作用距离、传输速率和位误差概率;

(3)将自最佳自适应判决反馈均衡器和自最佳自适应相位跟踪器联合信号处理方法和声纳方程结合起来进行设计,选择合适的信号模式、工作频率、作用距离、传输速率、位误差概率和发射换能器指标;

(4)采用空间分集技术,选择合适的水听器数目,进一步降低位误差概率和增大作用距离;

(5)选择合适的高码速率、低位误差概率水声相干通信系统的指标,否则重复(2)、(3)和(4)的计算,直到水声通信系统的各主要参数基本满意;

(6)根据步骤(5)确定的高码速率、低位误差概率水声相干通信系统的指标,设计和研制水声相干通信系统样机,在工作过程中可对水声相干通信系统的指标进行适当修改;

(7)将步骤(6)制作的高码速率、低位误差概率水声相干通信系统样机在水池中进行测试;首先,测试传输速率是否达到指标,其次,由水池试验数据估计可能达到的位误差概率和作用距离。否则重复(2)~(6)的步骤,修改高码速率、低位误差概率水声相干通信系统的设计,直到基本满意;

(8)在湖上和海上试验;将主机和从机装在合适的载体 A 和 B 上,在开阔的水域和良好水文条件下进行试验,不断改变主机和从机的距离,不断测量高码速率、低位误差概率水声相干通信系统的指标:传输速率和位误差概率;在所有的测试距离上,包括最大作用距离,传输速率和位误差概率都应满足设计要求,否则重复(2)~(7)的步骤。

说明书

高码速率低位误差概率的水声相干通信系统和处理方法

技术领域

本发明涉及一种水声通信技术，特别是涉及一种高码速率、低位误差概率的水声相干通信系统和水声相干通信信号处理方法。

背景技术

目前水声相干通信系统和信号处理方法概括如下：

(1) 例如 J.G. Proakis 等人的美国专利 5844951 “Method and apparatus for simultaneous beam forming and equalization” 中介绍了多通道接收机中多通道联合和均衡的方法和仪器。接收机同时实现分集联合、均衡和同步。该发明的方法和仪器提供了用于水声数字通信系统中的复杂性简化了的自适应多通道接收机。该发明的内容主要是水声相干通信系统的接收机，见图 1，主要有三个方面的发明，介绍如下：

(A)多通道接收机，实现空间分集，在图 1 中有 $1 \dots K$ 个通道。

(B)判决反馈自适应均衡器(DFE)，图 1 中 $a_1(n) \dots a_k(n)$ 通道为均衡器的前段， $b(n)$ 为均衡器反馈段。采用快速数值稳定的递归最小二乘(RLS)方法实现自适应均衡。

(C)相位跟踪器实现信号同步，图 1 中的 $p_1(n) \dots p_k(n)$ 为相位跟踪器。采用二阶锁相环(DPLL)的方法实现相位跟踪。

(2) M. Sonnenschein 等人的美国专利 6130859 “Method and apparatus for carrying out high data rate and voice underwater communication” 中介绍了发射和接收高速率数据以及语言通信的水下仪器，它包括 1.一个发射机；2.一个接收机；3.一个多普勒频移补偿器。多普勒频移补偿器测量两个未调制信号中一个的频率，此未调制的信号作为调制的信号一部分发射出去，将测得的频率与预设的频率比较，求得多普勒频移。

15

目前现有的水声相干通信技术中存在 3 个主要缺点, (1)它们不能快速检测和跟踪信号的相位, 因此均衡器系数的相位发生旋转, 均衡器有时失效。美国专利 5844951 中采用二阶锁相环检测和跟踪信号相位, 由于其中的二个系数是确定的, 它不能适应水声信道的快速时变特征。当信道的界面、水体和载体等的运动速度超 0.14m/s 时, 二阶锁相环即失效。美国专利 6130859 中一次至少发射两个未调制信号中的一个, 求得多普勒频移, 这是这一次发射中的平均多普勒频移。对于快速时变的水声信道, 不足以跟踪信号相位。对宽带信号不足以代表运动速度。(2)美国专利 5844951 中采用了快速数值稳定的递归最小二乘(RLS)方法实现自适均衡, 实验表明, 在信道比较复杂时, 它跟不上信道的变化, 均衡器失效。(3)美国专利 5844951 中的自适均衡器系数的个数均为数十个, 运算比较复杂, 实现时对硬件的要求比较高。

发明内容

发明的目的: (1)为了解决已有的水声相干通信装置和信号处理方法不能快速检测和跟踪信号的相位; (2)在于解决已有的水声通信装置和信号处理方法中自适应判决反馈均衡器不能快速地跟踪水声信道引起的信号变化; (3)在于解决已有的自适应判决反馈均衡器系数的个数较多, 使硬件比较复杂; (4) 为了克服水中多途效应; 从而提供一种具有高码速率、低位误差概率的水声相干通信系统及水声相干通信信号处理方法。

本发明的目的是这样实现的: 本发明提供的用于在水下传输指令、数据和图像的高码速率、低位误差概率水声相干通信系统, 包括主机和从机; 其中主机安装在母船或主控水下载体 A 上, 它包括电子分机、发射换能器和垂直悬挂于水中的由 2 个以上水听器组成的接收线阵(称为空间分集技术)。从机安装在水下载体 B 上, 包括电子分机和收发合用的换能器。(见附图 2)

其所述的主机包括: 一个发射换能器、垂直悬挂于水中的由 2 个以上水听器组成的接收线阵(称为空间分集技术)、发射机、多路接收机、多路 A/D 采集器、高速数字信号处理器、输入输出控制器和计

算机。其中发射换能器与发射机的功率放大器的末级相联，接收线阵与接收机的前置放大器相联，接收机与多通道 A/D 采集器电连接，多道 A/D 采集器与高速数字信号处理器电连接，多通道高速数字信号处理器与带有硬盘的计算机电连接，输入输出控制器与计算机、发射机、接收机电联接。另外，在母船上主机不需要安装唤醒电路。(见附图 3，不包括唤醒电路)

所述的从机包括：一个收发合用的换能器、发射机、一路接收机、一路 A/D 采集器、高速数字信号处理、输入输出控制器、唤醒电路和计算机。其中，其工作原理类同主机，附图 3 中的多通道电路均变为 1 路。由于在水下工作，需要节约能源，因此需要安装一如附图 3 所示的唤醒电路，所述的唤醒电路：包括一唤醒电路，唤醒电路的输入与接收线阵中的一个水听器相联，输出与 A/D 采集器相联。一般从机不工作，只有低功耗的唤醒电路在值班。一当接收到对方指令，从机即开始工作。(见附图 3，包括唤醒电路)

其中所述的主机中的发射换能器被发射机驱动向水中发射多相移键控信号，发射换能器可以是无指向性的，也可以是有指向性的，一般波束角宽为 60~90 度。

其中所述的主机的接收线阵由 2~16 个水听器组成，垂直悬挂于水中，水听器的间距一般约为 10 个波长。这称为空间分集技术。

其中所述的主机中的发射机包括一块发射板，发射机由主控计算机控制，主控计算机通过输入输出控制器向发射机发出门控信号，启动发射机。发射的电信号放大后，经过驱动级驱动功率级，推动变压器生成驱动换能器的大功率脉冲信号。(框图见图 4)

其中所述的主机中的多路接收机包括至少 2 块接收机板，每块接收机板上有 4 通道接收机。这表明最大接收机的通道数至少为 8，它可与至少 8 个水听器相联接。因此空间分集最大的通道数至少为 8。水听器接收的微弱信号经前置放大和自动增益控制放大器，进行增益补偿，输入到带通滤波器，滤去通带外的噪声。信号经正交解调后形成正交信号，经缓冲放大器，馈给多通道 A/D 采集器，其幅度适合多通道 A/D 采集器的要求。(框图见图 5)

其中所述的主机中的多通道 A/D 采集器是包括一主要用于对经

过接收机处理后的多路正交回波信号进行数据采集；该采集器包括模拟输入、多路模拟开关、A/D 转换器、FIFO 存储器、缓冲/隔离电路、时钟发生器、主控计算机总线和 DSP 扩展总线；与接收机的通道数相一致，输入信号分为多组，每组由两个相互正交的信号组成，输入信号经过多路模拟开关后，每组的两个信号同时进行 A/D 转换，数据送入到 FIFO 存储器中；存储器在半满时向高速数字信号处理器发出中断请求信号，高速数字信号处理器响应中断请求，读出数据并另行保存，然后进行处理；处理完的数据传给主控计算机显示和保存，如此直到下一次中断到来。(框图见图 6)

其中所述的主机中的高速数字信号处理器由数字信号处理芯片、双口 RAM、静态 RAM、逻辑控制器、主控计算机接口和扩展总线接口组成；其中高速数字信号处理器与主控计算机之间通过双口 RAM 进行数据交换，主控计算机负责将 DSP 程序加载到静态 RAM 中，还负责控制数字信号处理器的启动和停止；数字信号处理芯片工作时，AD 数据经过扩展接口保存到 SRAM 中，再经双口 RAM 将 AD 数据传到主控计算机。(框图见图 7)

其中所述的主机中的输入输出控制器用于控制发射机的门控，提供 4 块接收机板的自动增益控制信号，并接收同步信号输入，它由数字输出接口、数字输入接口、定时器、D/A 转换器、逻辑控制器和主控计算机接口组成。(框图见图 8)

其中所述的高码速率、低位误差概率水声相干通信系统主机的方框图见图 3 (不包括唤醒电路)，其工作流程如下：

主机接收到指令后，则由计算机通过输入输出控制器向发射机给出门控信号，使发射机产生大功率多相移键控(MPSK)电脉冲信号驱动发射换能器，发射换能器把 MPSK 电脉冲信号转换成声脉冲信号并向水中发射。接收到指令后，计算机命令高速数字信号处理器启动多通道 A/D 采集器，同时主控计算机通过控制器向接收机给出自动增益控制(AGC)信号，接收机由接收线阵收到的信号，经接收机放大、滤波、正交解调，通过多通道 A/D 采集器将其变为数字信号；数字信号被输入到高速数字信号处理器，高速数字信号处理器将对数字信号进行处理，处理结果被输入到计算机中，并保存在硬盘上，也可经

RS232 输出到其它终端设备中。

其中所述的从机中的收发换能器同主机中的发射换能器，但同时用作发射和接收。

其中所述的从机中的发射机同主机中的发射机。

其中所述的从机的接收机同主机中的接收机，但通道数只有 1 个。

其中所述的从机中的 A/D 采集器同主机中的，但是只有一个通道。

其中所述的从机中的高速数字信号处理器同主机中的，只是其中的 DSP 芯片的运算速度较低。

其中所述的输入输出控制器同主机中的，只是通道数较少。

其中所述的从机中的唤醒电路在从机不工作时进行值班，当接收到对方的指令时，它唤醒从机工作。

所述的高码速率、低位误差概率水声相干通信系统从机的方框图见附图 3，包括唤醒电路。其工作流程如下：首先，唤醒电路接收指令后，使从机开始工作。这之后从机的工作流程与主机一样。

其中所述的主机和从机上均采用自最佳自适应判决反馈均衡器和自最佳自适应相位跟踪器联合信号处理方法，克服信道引起的和载体运动引起的接收信号的畸变，达到高码速率和低位误差概率。

所述的水下载体包括水下机器人和任何能自主航行的水下载体。

所述的主机和从机上均采用自最佳自适应判决反馈均衡器和自最佳自适应相位跟踪器联合信号处理方法，其特征是：所述的两种信号处理方法适用于任何相干通信机。

本发明的用高码速率、低位误差概率水声相干通信系统进行工作的方法包括以下步骤：

(1)根据用户要求选用合适的安装主机的母船或主控水下载体 A，以及安装从机的水下载体 B。

(2)根据用户要求，拟定初步的总体指标，包括作用距离、传输速率和位误差概率。

(3)将自最佳自适应判决反馈均衡器和自最佳自适应相位跟踪器联合信号处理方法和声纳方程结合起来进行设计，选择合适的信号模

式、工作频率、作用距离、传输速率、位误差概率和发射换能器指标。

(4)采用空间分集技术，选择合适的水听器数目，进一步降低位误差概率和增大作用距离。

(5)选择合适的高码速率、低位误差概率水声相干通信系统的指标，否则重复(2)、(3)和(4)的计算，直到水声通信系统的各主要参数基本满意。

(6)根据步骤(5)确定的高码速率、低位误差概率水声相干通信系统的指标，设计和研制水声通信系统样机。在工作过程中可对水声通信系统的指标进行适当修改。

(7)将步骤(6)制作的高码速率、低位误差概率水声相干通信系统样机在水池中进行测试。首先，测试传输速率是否达到指标，其次，由水池试验数据估计可能达到的位误差概率和作用距离。否则重复(2)~(6)的步骤修改高码速率、低位误差概率水声相干通信系统的设计，直到基本满意。

(8)在湖上和海上试验；将主机和从机装在合适的载体上，在开阔的水域和良好水文条件下进行试验；

本发明的系统的工作流程如下：

接收到指令后，则由计算机通过输入输出控制器向发射机给出门控信号，使发射机产生大功率多相移键控(MPSK)电脉冲信号驱动发射换能器，发射换能器把 MPSK 电脉冲信号转换成声脉冲信号并向水中发射。接收到指令后，主控计算机命令高速数字信号处理器启动多通道 A/D 采集器，同时主控计算机通过控制器向接收机给出自动增益控制(AGC)信号，接收机由接收线阵收到的信号，经接收机放大、滤波、正交解调，通过多通道 A/D 采集器将其变为数字信号；数字信号被输入到高速数字信号处理器，高速数字信号处理器将对数字信号进行处理，处理结果被输入到计算机中，并保存在硬盘上，也可经 RS232 输出到一些外设中；到此为止，一个水声相干通信系统的正常工作周期完成，系统将紧接着进行下一个正常工作周期的工作。另外，系统在进入正常工作前，主控计算机向整个系统提供所需的程序。(见图 10)。

不断改变主机和从机的距离，不断测量高码速率、低位误差概率

水声相干通信系统的指标：传输速率和位误差概率。在所有的测试距离上，包括最大作用距离，传输速率和位误差概率都应满足设计要求。

本发明的优点在于：(1)由于使用本发明的用于高码速率、低位误差概率水声相干通信系统和信号处理方法进行工作时把水声信道看成是在延时域和频率域双扩散的模型，认为水声信号的相位是一快速变化的随机量。本发明的自最佳自适应相位跟踪器在图 1 中以 $p_1(n)$ - $p_k(n)$ 表示，它是一采用最小均方(LMS)方法的相位估计器，LMS 方法适用于随机量的估计。不同于一般 LMS 方法中把增益因子 γ 看成是确定量，本发明中把 LMS 方法中的 γ 看成是随机量，对 γ 再采用 LMS 方法进行估计，也即 γ 值会自行选择自最佳值。上述表明，在本发明的自最佳自适应相位跟踪器中采用了双重 LMS 方法，因此它能跟踪快速变化的随机量，即信号的相位。

(2)由于使用本发明的用于高码速率、低位误差概率水声相干通信系统和信号处理方法进行工作时把水声信道看成是延时域和频率域双扩散的模型，认为水声信号的幅度是一快速变化的随机量。本发明的自最佳自适应判决反馈均衡器在图 1 中以 $a_1(n)$ $a_2(n)$ 和 $b(n)$ 表示，它采用最小均方(LMS)方法进行自适应运算。不同于一般的 LMS 方法中把增益因子 μ 看成是确定量，本发明中把 LMS 方法进行自适应运算，也即 μ 值会自行选择最佳值。上述表明，在本发明的自最佳自适应判决反馈均衡器中采用了双重 LMS 方法，因此它能跟踪快速变化的随机量，即信号的振幅。

(3)由于使用本发明的用于高码速率、低位误差概率水声相干通信系统和信号处理方法进行工作时全采用最小均方(LMS)方法，与 RLS 方法相比，LMS 方法简单，运算量小。又由于采用双重 LMS 方法，自最佳自适应相位估计器和自最佳自适应判决反馈均衡器的阶数小于 11。

(4)由于使用发明的用于高码速率、低位误差概率水声相干通信系统和信号处理方法进行了数次湖上试验，主机和从机各装在一条船上，在多个距离上进行水声通信试验。在距离 2000 米处信道最为复杂，试验数据分析结果见图 11 和图 12。图 11 是本发明的空间分集、自最佳自适应判决反馈均衡器和自最佳自适应相位跟踪器获得的结

果，位误差概率 1.9×10^{-5} 。图 12 中是美国专利 5844951 中的空间分集、快速数值稳定的递归最小二乘(RLS)和二阶锁相环算法获得的结果，位误差概率位 1.95×10^{-2} 。本发明结果明显好于美国专利 5844951 中的结果。

(5)由于使用本发明的用于高码速率、低位误差概率水声相干通信系统和信号处理方法进行了数次湖试。主机和从机各装在一条船上，试验结果见图 13。由图可见，当相对运动速度小于和等于 1.4m/s 时，位误差概率仍可保持为 10^{-5} 。明显好于美国专利 5844951 中的 0.14m/s。

(6)由于使用本发明的用于高码速率、低位误差概率水声相干通信系统和信号处理方法进行了数次湖试，主机和从机装在一条船上，在多个距离上进行了试验，试验结果见图 14。由图可见，接收图像与发送图像看不出差别。在 4000m 处，传输速率 10kb/s，位误差概率好于 10^{-4} 。由此得到，作用距离 · 传输速率 = 40km · kb/s。达到了国际上 20 世纪九十年代末国际水平的上限，见图 15。图中曲线为上限，曲线上的*是本发明的结果。

附图说明

- 图 1 基于自适应多通道 DFE 的相干接收机
- 图 2 水声相干通信系统工作示意图
- 图 3 水声相干通信系统方框图，主机不包括唤醒电路，从机包含唤醒电路。
- 图 4 水声相干通信系统的发射机电路框图
- 图 5 水声相干通信系统的接收机一个通道的电路框图
- 图 6 水声相干通信系统多通道采集器框图
- 图 7 水声相干通信系统高速数字信号处理器电路框图
- 图 8 水声相干通信系统控制器的输入输出电路框图
- 图 9 水声相干通信系统唤醒电路
- 图 10a 水声相干通信系统发射软件流程图
- 图 10b 水声相干通信系统接收软件流程图
- 图 10 水声相干通信系统软件流程图

图 11(a) γ (用于相位跟踪)

图 11(b) μ (用于均衡器权数系数)

图 11(c) MSE

图 11(d) 3 通道相位估计 随符号数的变化

图 11(e) 输出星座图

图 11(f) 符号错误分布

图 11 空间分集、自最佳自适应判决反馈均衡器和自最佳自适应相位跟踪器算法在信道最复杂时的试验数据分析结果, 信号为 QPSK, 传输速率 10kbps/s, 作用距离为 2000m, 位误差概率 1.90×10^{-5} 。均衡器系数阶数 $[a_1; a_2; a_3; b]=[1; 1; 1; 11]$ 。

图 12(a) MSE 随符号数的变化

图 12(b) 3 通道相位估计随符号数的变化

图 12(c) 输出星座图

图 12(d) 符号错误分布

图 12 空间分集、快速数值稳定的递归最小二乘(RLS)和二阶锁相环算法(美专利 5844951)在信道最复杂时的试验数据分析结果, 信号为 QPSK, 传输速率 10kbps/s, 作用距离为 2000m, 位误差概率 1.95×10^{-2} 。均衡器系数个数 $[a_1; a_2; a_3; b]=[2; 2; 2; 12]$ 。

图 13(a) 均方误差随符号数的变

图 13(b) 星座图

图 13(c) 符号相位随符号数的变

图 13(d) 误差分布

图 13 传输率 10kbps/s, 信噪比 15dB, 相对速度 1.4 米/秒, QPSK 信号时的均方误差、星座图、相位变化及误差概率分布图, 位误差概率 10^{-5} 。

图 14 接收图像与发送的源图的比较, 图中看不出差别

图 15 湖上试验设备布放图; 左: 发射船, 右: 接收船。

图 16(a) γ (用于相位跟踪)

图 16(b) μ (用于均衡器权系数)

图 16 (c) MSE

图 16(d) 3 通道相位估计

图 16(e) 输出星座图

图 16(f) 符号错误分布

图 16 空间分集、自最佳自适应判决反馈均衡器和自最佳自适应相位跟踪器算法对试验数据分析结果, 信号为 QPSK, 传输速率 10kb/s, 作用距离为 4000m, 位误差概率 1.75×10^{-5} 。均衡器系数阶数 $[a_1; a_2; a_3; b]=[2; 2; 2; 9]$ 。

图 17(a) MSE 随符号数的变化

图 17(b) 通道相位估计随符号数的变化

图 17(c) 输出星座图

图 17(d) 符号错误分布

图面说明如下:

- | | | |
|---------------|---------------|---------------|
| 1. 母船 | 2. 电子分机 | 3. 发射换能器 |
| 4. 接收换能器 | 5. 电缆 | 6. MPSK 信号 |
| 7. MPSK 信号 | 8. 水下载体 | 9. 电子分机 |
| 10. 收发换能器 | 11. 发射船 | 12. 接收船 |
| 13. 从机电电子分机 | 14. 主机电子分机 | 15. 无指向性收发换能器 |
| 16. 无指向性水听器线阵 | 17. 无指向性收发换能器 | |
| 18. 承重缆 | 19. 电缆 | |
| 20. 重物 | 21. 承重缆 | 22. 电缆 |
| 23. 支架 | 24. 承重缆 | 25. 电缆 |
| 26. 重物 | 27. 锚 | 28. 锚 |
| 29. 水底 | 30. 水面 | |

具体实施方式

实施例 1

按照图 1、图 2 和图 3 制作一用于高码速率、低位误差概率的水声相干通信系统, 在某湖上进行试验。湖上试验布放图见图 16, 该系统包括安装在接收船 12 上的主机和安装在发射船 11 上的从机。从机电电子分机的方框图见图 3, 它采用的是无指向性发射换能器 15。此无指向性发射换能器 15 由承重缆 18、电缆 19 和重物 20 支撑和稳定。唤醒电路接收到指令后, 即启动从机工作, 从机工作流程同后面描述的主机工作流程。发射换能器 15 向水中发射相移键控(MPSK)声信号。

发射的 MPSK 信号频带为 15~20kHz, 声信号经水声信道传播后为主机的由三个无指向性水听器组成的线阵 16 接收, 它构成了空间分集技术。无指向性水听器线阵 16 由承重缆 24、电缆 25 和重物 26 支撑和稳定。线阵 16 基元之间的间距约为 10 个波长。主机电子分机的方框图见图 3。接收到指令后, 主机的主控计算机命令高速数字信号处理器启动多通道 A/D 采集器, 同时主控计算机通过控制器向接收机给出自动增益控制(AGC)信号, 接收机由接收线阵接收到的信号, 经接收机放大、滤波、正交解调, 通过多通道 A/D 采集器将其变为数字信号; 数字信号被输入到高速数字信号处理器, 高速数字信号处理器对数字信号进行处理, 处理结果被输入到计算机中, 并保存在硬盘上, 也可输入到一些外设中; 这之后主机往往要传输信息, 则由计算机通过输入输出控制器向发射机给出门控信号, 使发射机产生大功率多相移键控(MPSK)电脉冲信号驱动发射换能器 17, 发射换能器 17 把 MPSK 电脉冲信号转换成声脉冲信号并向水中发射。发射换能器 17 由承重缆 21, 电缆 22 和支架 23 支撑和稳定。并且水声相干通信系统发射机由信号转换、驱动级、功率级、变压器, 按信号走向顺序连接组成, 除变压器外, 其它均可由国内外市场上购得。变压器是一常规脉冲变压器。图 5 是接收机一个通道的电路方框图, 它包括前放、自动增益控制(AGC)电路、带通滤波器(BPF)、本振、低通滤波器和缓冲放大器, 按图 5 电路的信号走向顺序连接构成。图 5 中每一方框中的部件就是一个专用芯片, 国内外市场均可购得。图 6 是多通道 A/D 采集器的方框图, 它包括模拟输入、多路模拟开关、A/D 转换器、FIFO 存储器、逻辑控制电路、时钟发生器、主控计算机总线和 DSP 扩展总线, 按图 6 中的信号走向顺序连接构成。图 7 是高速数字信号处理器方框图, 它包括数字信号处理芯片、双口 RAM、静态 RAM (SRAM)、逻辑控制器和扩展总线, 按图 7 中的信号走向顺序连接组成。图 8 是输入输出控制器电路方框图, 它包括数字输出接口、数字输入接口、定时器、D/A 转换器、逻辑控制器和主控计算机接口, 按图 8 中的信号走向顺序连接构成。图 6、7 和 8 中的各种数字芯片均为通用芯片, 可在国内外市场购得。

用本发明的空间分集、自适应判决反馈均衡器和自适应最佳

适应相位跟踪器对试验数据处理的结果见图 11。由图 11(a)可见, 本发明用于相位跟踪器的 LMS 估计器的增益因子 γ 在三个通道中差异达一个数量级。因此美国专利 5844951 中采用具有二个固定参数的二阶数字锁相环难以检测和跟踪水声信号相位的快速变化。由图 11(b) 可以看到, 本发明用于自最佳自适应判决反馈均衡器的 LMS 信号处理方法中的增益因子 μ 的变化可达一个数量级, 因此美国专利 5844951 中采用确定指数权重因子的快速数值稳定的 RLS 方法难以适应水声信号的快速变化。由图 11 可知, 本发明的空间分集、自最佳自适应判决反馈均衡器和自最佳自适应相位跟踪器在作用距离 2000m 处, 达到传输速率 10kbps/s 和位误差概率 1.90×10^{-5} 。

用美国专利 5844951 中的空间分集、快速数值稳定的 RLS 方法的自适应判决反馈均衡器和二阶锁相环的相位跟踪器对与图 11 中相同试验数据分析结果见图 12。由图可见, 在作用距离 2000m 处, 达到传输速率 10kbps/s 和位误差概率 1.90×10^{-2} 。明显劣于本发明的结果。

实施例 2

按照图 1、图 2 和图 3 制作一用于高码速率、低位误差概率的水声相干通信系统, 在另一湖上进行试验。湖上试验布放图见图 16, 该系统包括安装在接收船 12 上的主机和安装在发射船 11 上的从机。从机电子分机的方框图见图 3。它采用的是无指向性发射换能器 15, 此无指向性发射换能器 15 由承重缆 18、电缆 19 和重物 20 支撑和稳定。唤醒电路接收到指令后, 即启动从机工作, 从机工作流程图同后面描述的主机工作流程。发射换能器 15 向水中发射相移键控(MPSK)声信号。发射的 MPSK 信号频带为 15~20kHz, 声信号经水声信道传播后为主机的由三个无指向性水听器组成的线阵 16 接收, 它构成了空间分集技术。无指向性水听器线阵 16 由承重缆 24、电缆 25 和重物 26 支撑和稳定。线阵 16 基元之间的间距约为 10 个波长。主机电子分机的方框图见图 3。接收到指令后, 主机的主控计算机命令高速数字信号处理器启动多通道 A/D 采集器, 同时主控计算机通过控制器向接收机给出自动增益控制(AGC)信号, 接收机由接收线阵接收到的信号, 经接收机放大、滤波、正交解调, 通过多通道 A/D 采集器

27

将其变为数字信号；数字信号被输入到高速数字信号处理器，高速数字信号处理器对数字信号进行处理，处理结果被输入到计算机中，并保存在硬盘上，也可输入到一些外设中；这之后主机往往要传输信息，则由计算机通过输入输出控制器向发射机给出门控信号，使发射机产生大功率多相移键控(MPSK)电脉冲信号驱动发射换能器 17，发射换能器 17 把 MPSK 电脉冲信号转换成声脉冲信号并向水中发射。发射换能器 17 由承重缆 21，电缆 22 和支架 23 支撑和稳定。并且水声相干通信系统发射机由信号转换、驱动级、功率级、变压器，按信号走向顺序连接组成，除变压器外，其它均可由国内外市场上购得。变压器是一常规脉冲变压器。图 5 是接收机一个通道的电路方框图，它包括前放、自动增益控制(AGC)电路、带通滤波器(BPF)、本振、低通滤波器和缓冲放大器，按图 5 电路的信号走向顺序连接构成。图 5 中每一方框中的部件就是一个专用芯片，国内外市场均可购得。图 6 是多通道 A/D 采集器的方框图，它包括模拟输入、多路模拟开关、A/D 转换器、FIFO 存储器、逻辑控制电路、时钟发生器、主控计算机总线和 DSP 扩展总线，按图 6 中的信号走向顺序连接构成。图 7 是高速数字信号处理器方框图，它包括数字信号处理芯片、双口 RAM、静态 RAM (SRAM)、逻辑控制器和扩展总线，按图 7 中的信号走向顺序连接组成。图 8 是输入输出控制器电路方框图，它包括数字输出接口、数字输入接口、定时器、D/A 转换器、逻辑控制器和主控计算机接口，按图 8 中的信号走向顺序连接构成。图 6、7 和 8 中的各种数字芯片均为通用芯片，可在国内外市场购得。

用本发明的空间分集、自最佳自适应判决反馈均衡器和自最佳自适应相位跟踪器对试验数据处理的结果见图 17。由图 17(a)可见，本发明用于相位跟踪器的 LMS 估计器的增益因子 γ 在三个通道中差异达数倍，同一通道中 γ 的变化达一个数量级。因此美国专利 5844951 中采用具有二个固定参数的二阶数字锁相环难以检测和跟踪水声信号相位的快速变化。由图 17(b)可以看到，本发明用于自最佳自适应判决反馈均衡器的 LMS 信号处理方法中的增益因子 μ 存在快速的变化，因此美国专利 5844951 中采用确定指数权重因子的快速数值稳定的 RLS 方法难以适应水声信号的快速变化。由图 17 可知，本发明的

空间分集、自最佳自适应判决反馈均衡器和自最佳自适应相位跟踪器在作用距离 4000m 处，达到传输速率 10kb/s 和位误差概率 1.70×10^{-5} 。

用美国专利 5844951 中的空间分集、快速数值稳定的 RLS 方法的自适应判决反馈均衡器和二阶锁相环的相位跟踪器对与图 17 中相同试验数据分析结果见图 18。由图可见，在作用距离 4000m 处，达到传输速率 10kb/s 和位误差概率 2.15×10^{-2} 。明显劣于本发明的结果。

为了便于理解，结合附图与实施例已对本发明做了叙述，可以理解本发明有很多实施例，但本发明不限于这些图与实施例。本发明包括本发明精神与范围内所有权利要求范围内的修正案。

说明书附图

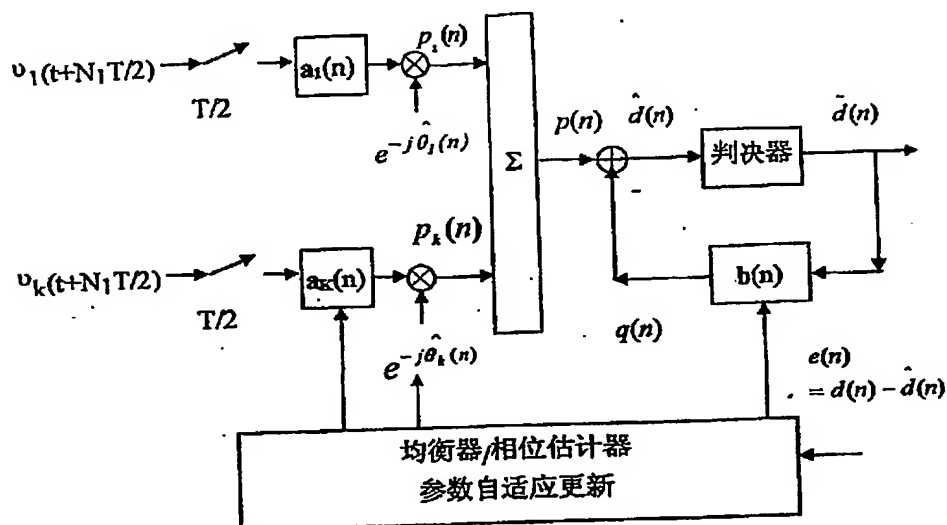


图 1

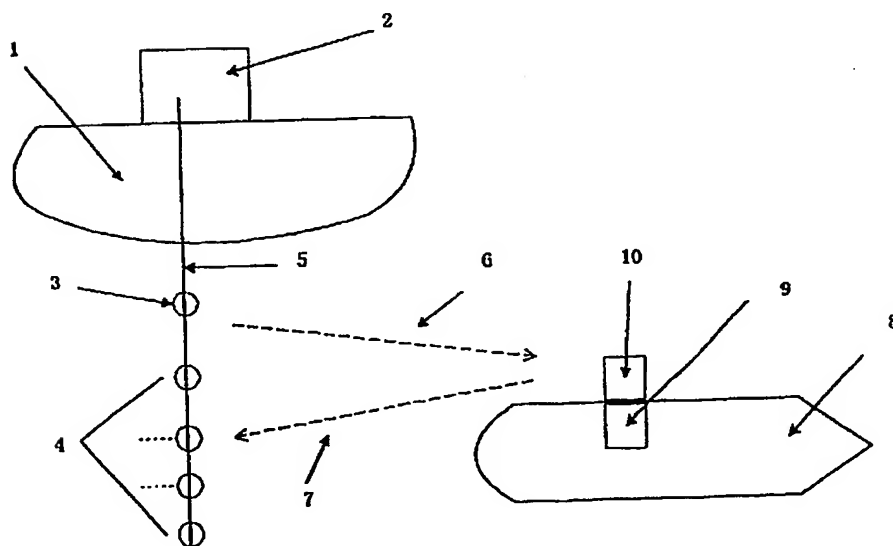


图 2

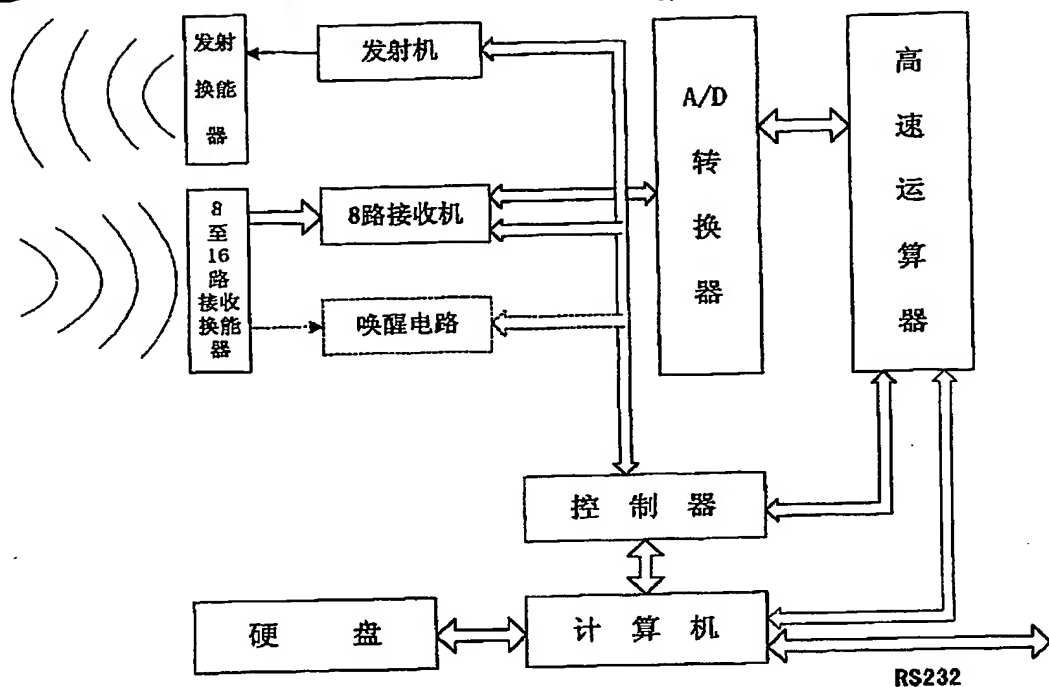


图 3

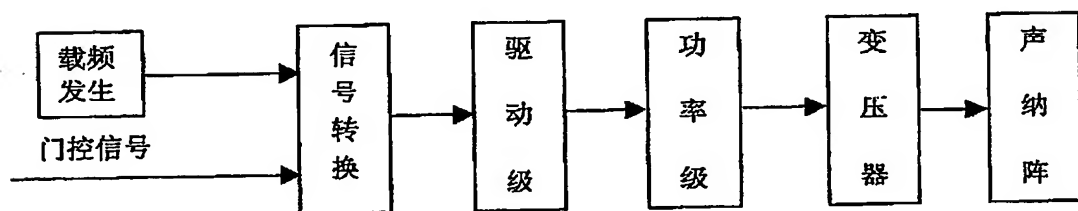


图 4

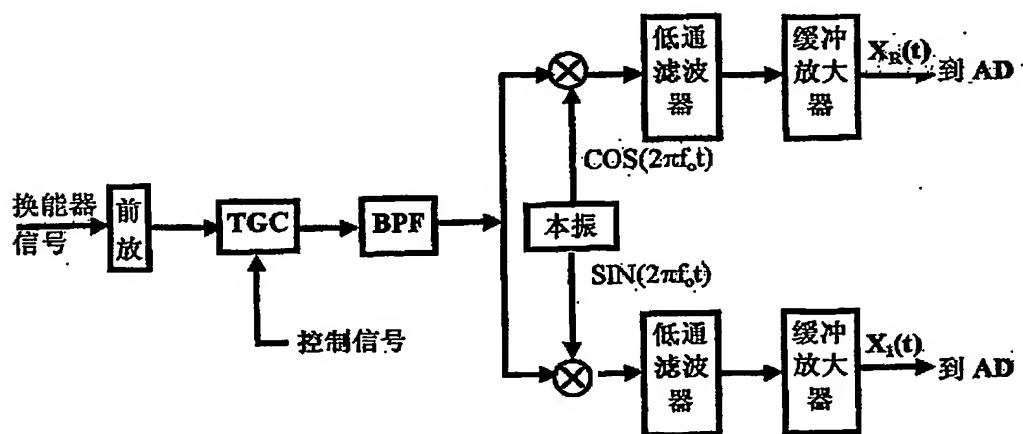


图 5

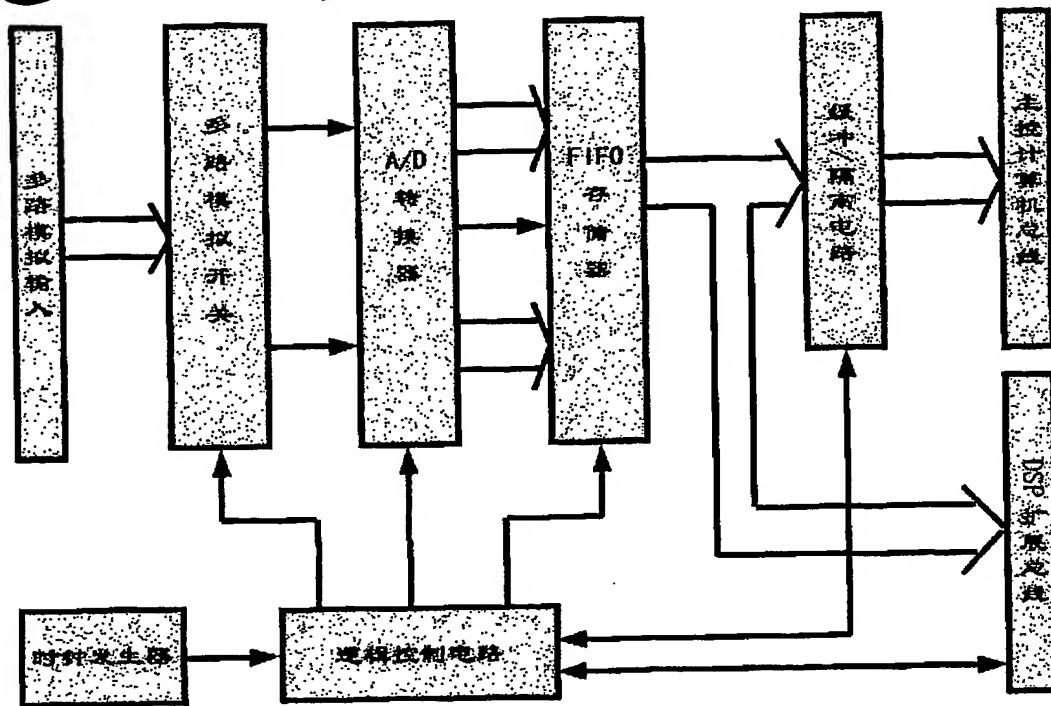


图 6

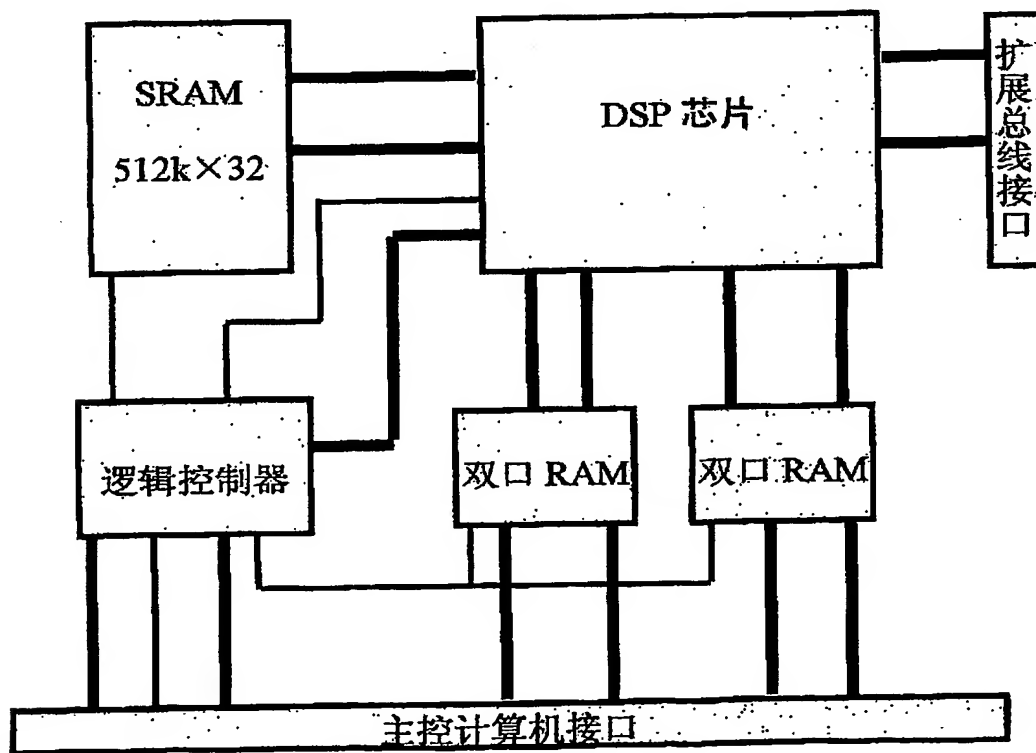


图 7

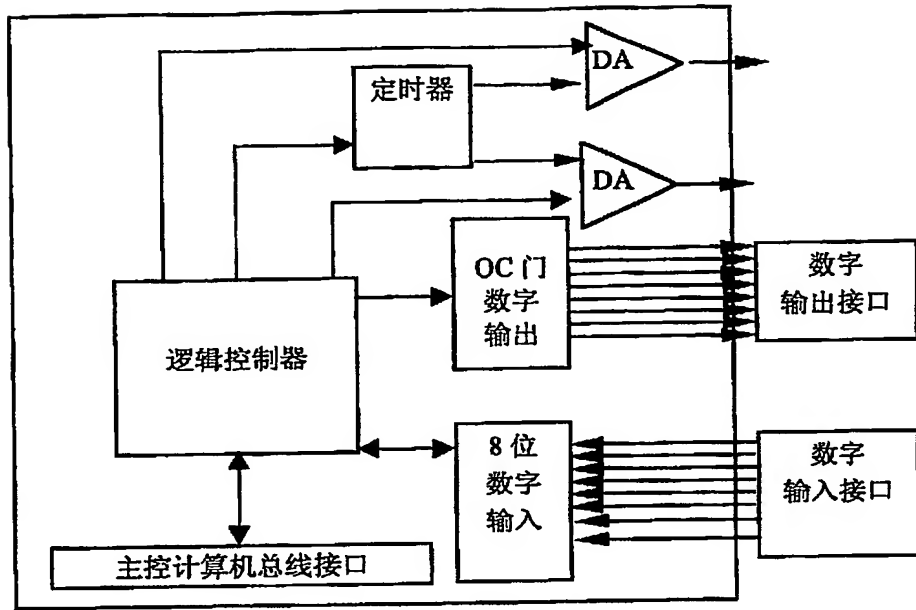
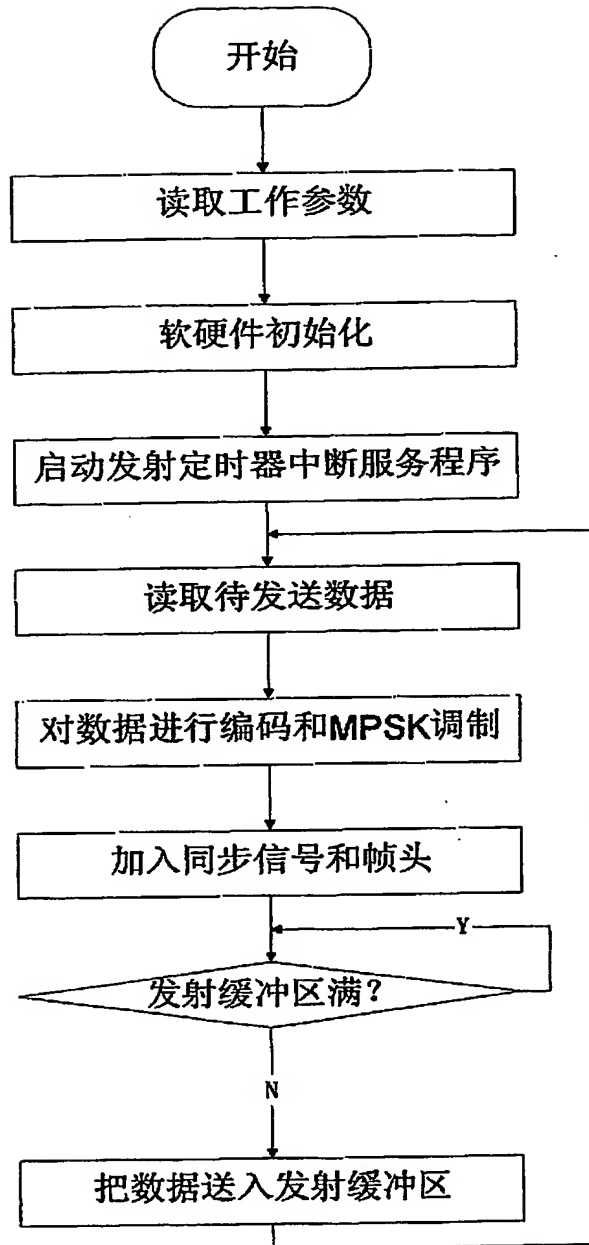


图 8



图 9



水声通信机发射软件流程图

图 10a

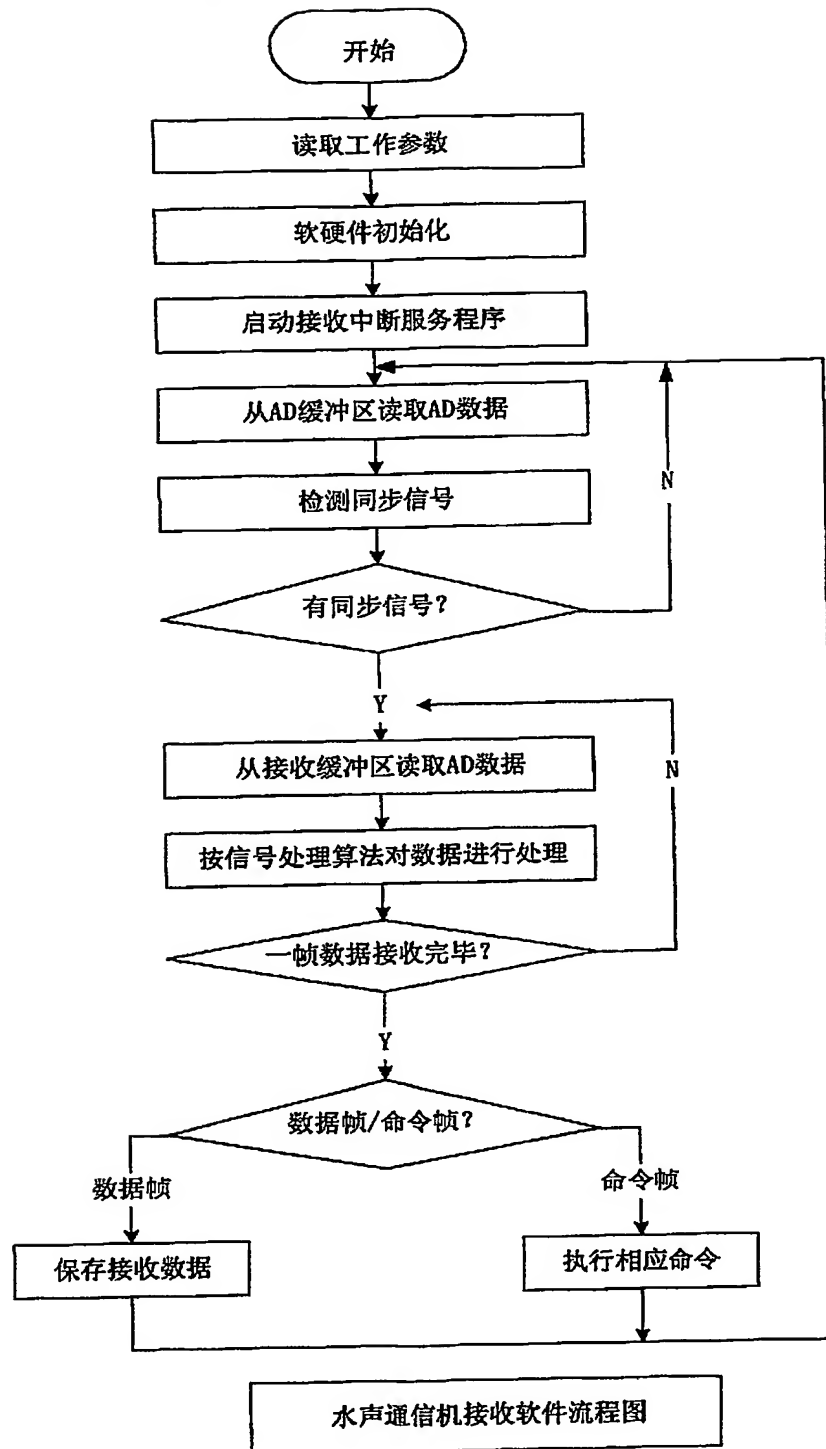


图 10b

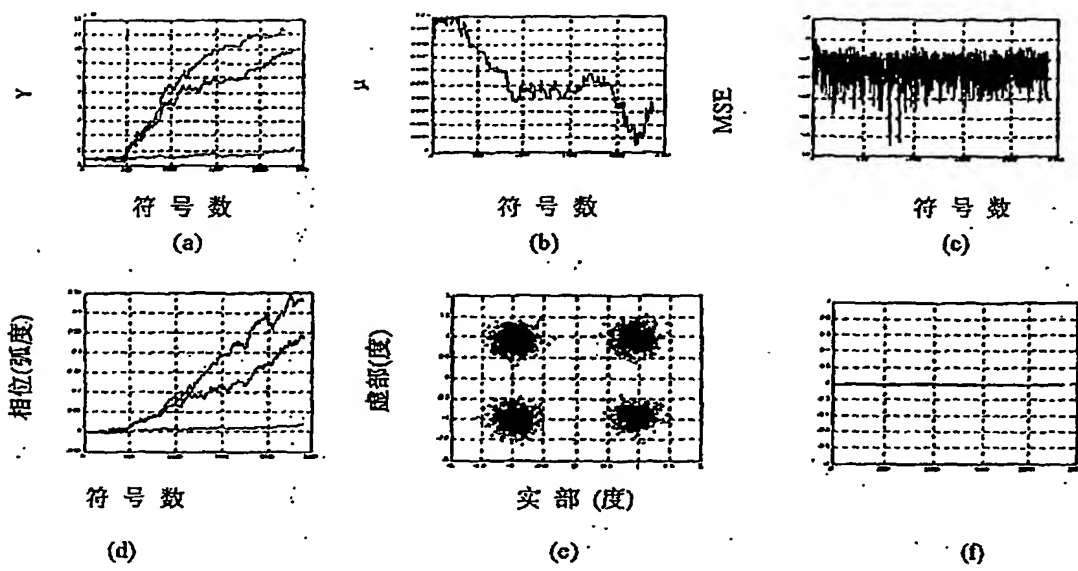


图 11

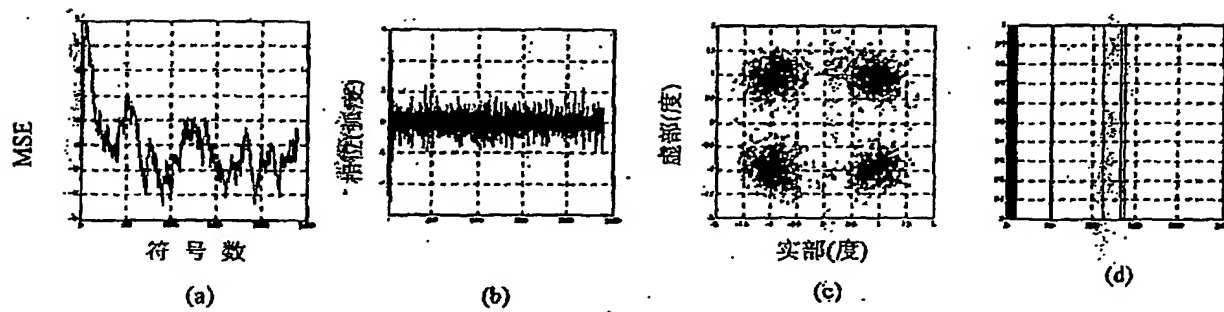


图 12

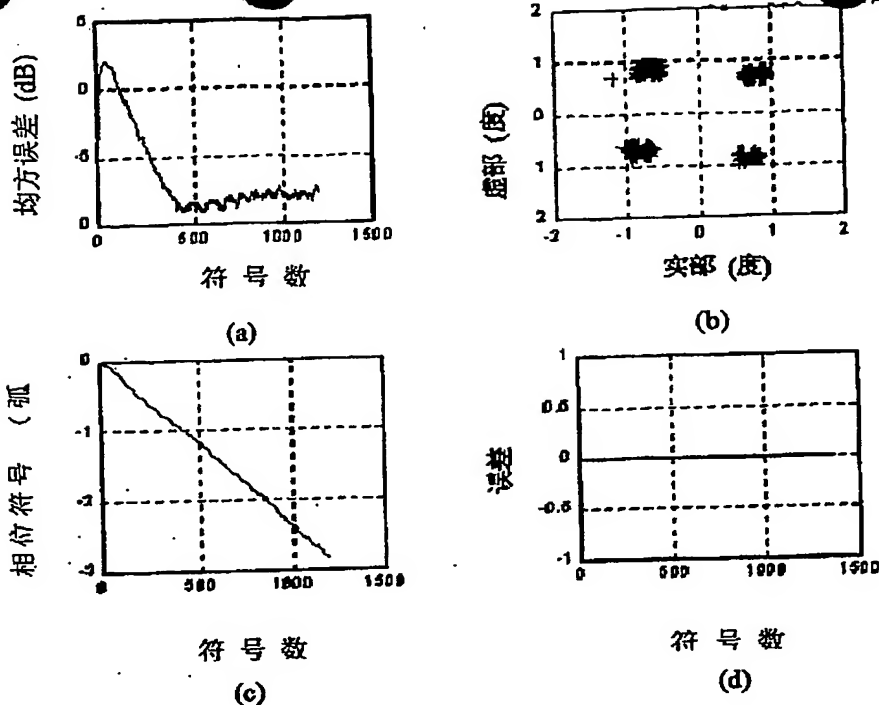


图 13

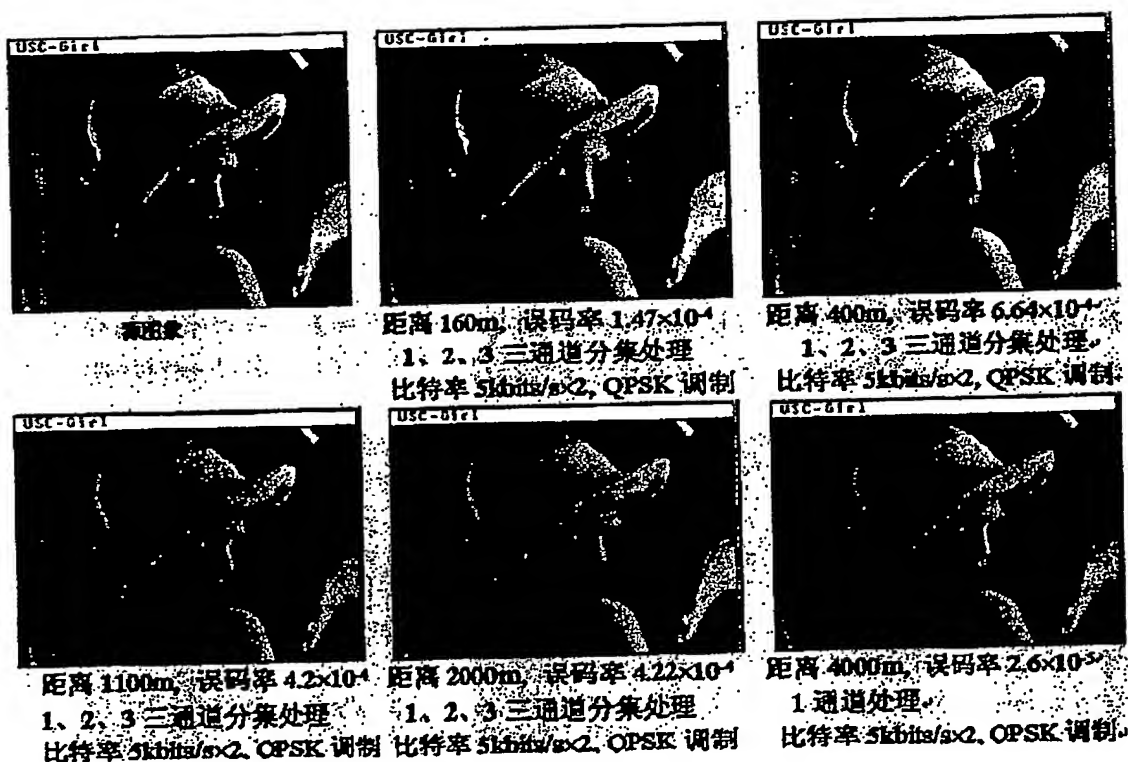


图 14

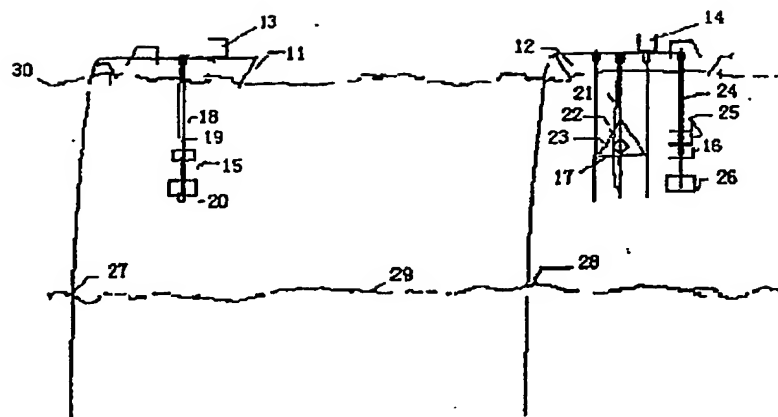


图 15

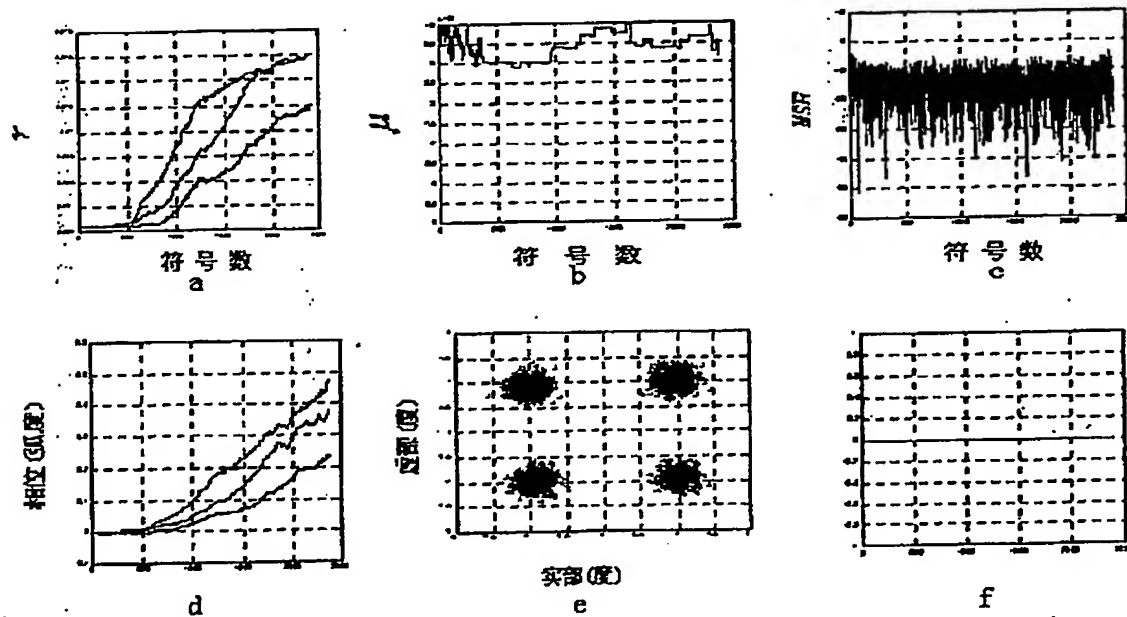


图 16